

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-333391

(43)Date of publication of application : 30.11.2000

(51)Int.Cl.

H02K 1/27

(21)Application number : 11-138556

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 19.05.1999

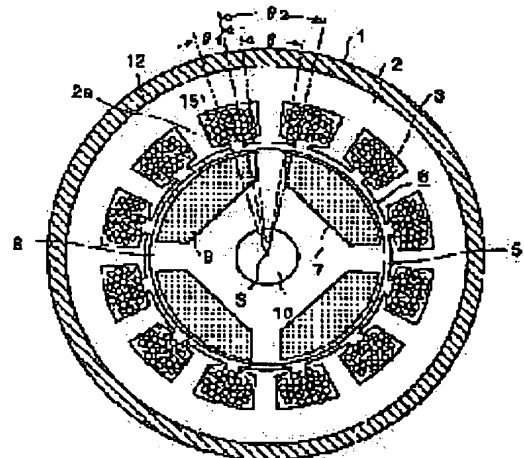
(72)Inventor : SASAKI MANABU
OHARAGI HARUO
KIKUCHI SATOSHI
TAKAHASHI MIYOSHI
NOMA KEIJI
SATO KAZUO
SENOO MASAHARU

(54) PERMANENT MAGNET TYPE ELECTRIC ROTATING MACHINE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a permanent magnet type electric rotating machine in which the motor efficiency can be enhanced while reducing cogging torque.

SOLUTION: A relation of $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ is set among the angle θ formed between the center of rotation S and the opposite ends of each permanent magnet 9 where the inter-pole width is narrowest, the angle θ_1 formed by the center of rotation S and the opposite ends at the slot opening part of a stator core 2 on the side facing a rotor 6, and the angle θ_2 formed by the center of rotation S and the opposite ends at the teeth part of the stator core 2 facing a rotor 6 through a gap 5. Since torque is enhanced, motor efficiency can be enhanced while reducing cogging torque.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The stator which has the stator winding wound around the stator core and this stator core, In the permanent magnet type dynamo-electric machine which carries out the rotation drive of said rotator by having a gap in this stator core, countering it, and two or more permanent magnets' equipping a hoop direction with the rotator which has the rotor core by which arrangement built-in was carried out, and energizing to said stator winding The include angle formed in the both ends and the center of rotation of the narrowest width-of-face section between the magnetic poles of each of said permanent magnet θ_1 , When the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the part which has countered said rotator through said gap in θ_1 and the teeth section of said stator core in the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the side which has countered said rotator of slot opening of said stator core is set to θ_2 , The permanent magnet type dynamo-electric machine characterized by being $\theta_1 \leq \theta_2$.

[Claim 2] The stator which has the stator winding wound around the stator core and this stator core, Have a gap in this stator core, counter it, and two or more permanent magnets equip a hoop direction with the rotator which has the rotor core by which arrangement built-in was carried out. In the dynamo-electric machine which the ratio of the number of slots of said stator and the pole of said rotator is [dynamo-electric machine] 3:1, and carries out the rotation drive of said rotator by energizing to said stator winding The include angle formed in the both ends and the center of rotation of the narrowest width-of-face section between the magnetic poles of each of said permanent magnet θ_1 , When the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the part which has countered said rotator through said gap in θ_1 and the teeth section of said stator core in the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the side which has countered said rotator of slot opening of said stator core is set to θ_2 , The permanent magnet type dynamo-electric machine characterized by being $\theta_1 \leq \theta_2$.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the permanent magnet type dynamo-electric machine with which two or more permanent magnets are embedded in the rotor core.

[0002]

[Description of the Prior Art] The width of face between each magnetic pole of two or more permanent magnets with which this kind generally adopted conventionally of permanent magnet type dynamo-electric machine is embedded in the rotor core is narrow. This is for the periphery side of a permanent magnet to enlarge each permanent magnet as much as possible, and to enlarge torque by main magnetic flux in a radii-like permanent magnet.

[0003] About the permanent magnet type dynamo-electric machine with which two or more permanent magnets with which the periphery side was formed in the shape of radii are embedded in the rotor core, there are some which made larger than the thickness dimension of the rotor core which intervenes between a rotor core peripheral face and a permanent magnet peripheral face the thickness dimension of the rotor core which intervenes between each permanent magnet contiguous to a hoop direction as indicated by JP,9-247880,A. Thereby, the sum of the main-magnetic-flux torque and reluctance torque by the permanent magnet is enlarged, and the motor efficiency is raised.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, it found out by experiment etc. that the main-magnetic-flux torque and reluctance torque by the permanent magnet had the trouble that the cogging torque (pulsation of the torque produced when rotating a rotator at the time of no-load) from which the effectiveness of reluctance torque is small, and causes noise depending on the configuration becomes large, with regards to a stator-core configuration.

[0005] The purpose of this invention is to offer the permanent magnet type dynamo-electric machine which it can be made in view of the above point, and the effectiveness of a motor can be raised, and can aim at reduction of cogging torque.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, the place by which it is characterized [of the permanent magnet type dynamo-electric machine in this invention] The include angle formed in the both ends and the center of rotation of the narrowest width-of-face section between the magnetic poles of each permanent magnet θ , When the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the part which has countered the rotator through a gap in θ_1 and the teeth section of a stator core in the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the side which has countered the rotator of slot opening of a stator core is set to θ_2 , It is in considering as $\theta_1 \leq \theta_2$.

[0007] Specifically, this invention offers the dynamo-electric machine hung up over a degree.

[0008] The stator which has the stator winding by which this invention was wound around the stator core and this stator core, In the permanent magnet type dynamo-electric machine which carries out the rotation drive of said rotator by having a gap in this stator core, countering it,

and two or more permanent magnets' equipping a hoop direction with the rotator which has the rotor core by which arrangement built-in was carried out, and energizing to said stator winding. The include angle formed in the both ends and the center of rotation of the narrowest width-of-face section between the magnetic poles of each of said permanent magnet theta, When the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the part which has countered said rotator through said gap in theta 1 and the teeth section of said stator core in the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the side which has countered said rotator of slot opening of said stator core is set to theta 2, The permanent magnet type dynamo-electric machine characterized by being $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ is offered.

[0009] Moreover, the stator which has the stator winding by which this invention was wound around the stator core and this stator core, Have a gap in this stator core, counter it, and two or more permanent magnets equip a hoop direction with the rotator which has the rotor core by which arrangement built-in was carried out. In the dynamo-electric machine which the ratio of the number of slots of said stator and the pole of said rotator is [dynamo-electric machine] 3:1, and carries out the rotation drive of said rotator by energizing to said stator winding. The include angle formed in the both ends and the center of rotation of the narrowest width-of-face section between the magnetic poles of each of said permanent magnet theta, When the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the part which has countered said rotator through said gap in theta 1 and the teeth section of said stator core in the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the side which has countered said rotator of slot opening of said stator core is set to theta 2, The permanent magnet type dynamo-electric machine characterized by being $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ is offered.

[0010]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the permanent magnet type dynamo-electric machine concerning the example of a gestalt of operation of this invention is explained using drawing.

[0011] Drawing 1 shows the cross section of the direction of a revolving shaft of the permanent magnet type dynamo-electric machine concerning the example of a gestalt of operation of the first of this invention, and drawing 2 shows the A-A' cross section of drawing 1. In the example of a gestalt of this operation, the number of slots shows the permanent magnet type dynamo-electric machine 4 and whose motor output 12 and a pole are 1kW.

[0012] The number of slots of a permanent magnet type dynamo-electric machine turns into a multiple of 3, when driving by the three-phase alternating current, and a pole turns into a multiple of 2. However, if there are many slots, since a wrap insulating material increases, the high frequency component of the inverter output current will leakage-come to be easy of a stator winding 3 to a ground, and it will have a bad influence on a power-source side. Therefore, it is desirable for the number of slots of each pole and each phase to be [for a ratio with 1, i.e., the number of slots, and a pole] 3:1.

[0013] In the dynamo-electric machine whose motor output is about 1kW, every pole and the number of slots of **** are usually one to about two. Therefore, the number of slots is set to 12 or 24 by the pole in the motor of 4.

[0014] The permanent magnet type dynamo-electric machine consists of a stator 1 and a rotator 6 arranged free [rotation inside this stator 1]. A stator 1 equips the inner circumference side of a frame 12 with the stator core 2 which carried out laminating formation, and in the stator slot 15 of a stator core 2, a stator winding 3 is wound around it and it is constituted.

[0015] The rotator 6 mainly consists of a rotor core 8, a permanent magnet 9, and a revolving shaft 10. That is, after constituting from what has the punching hole 7 for the rotor core 8 which carried out laminating formation, and end plate iron core material 8a and 8b prepared in the both ends which do not have the punching hole 7 and embedding a permanent magnet 9 in the punching hole 7, a rotor core 8 and end plates 8a and 8b are fixed by a rivet etc. (not shown), and a revolving shaft 10 is inserted after that and it is constituted.

[0016] The bearings 11a and 11b which fitted into the both-ends side of a revolving shaft 10 are supported with end brackets 4a and 4b, and the rotator 6 is formed so that it may rotate through the inner skin of a stator 1, and the predetermined gap 5.

[0017] Moreover, the rotator 6 is formed especially as follows. The include angle formed in the

both ends and the center of rotation S of the narrowest width-of-face section between the magnetic poles of each permanent magnet 9. Namely, θ , It is the include angle formed in the both ends of the side which has countered the rotator 6 of slot opening of a stator core 2, the both ends of the part which has countered the rotator 6 through a gap 5 in θ_1 and teeth section 2a of a stator core 2 in the include angle formed in the center of rotation S, and the center of rotation S θ_2 (however) $0 < \theta_1$ and θ_2 Semienclosed slot which is $\theta_1 \leq \theta_2$ -- when it carries out, it is formed so that $\theta_1 \leq \theta_2$ may be filled. In drawing 2, θ_1 and θ_2 become the value with which the number of slots fills $\theta_1 + \theta_2 = 360 / 12 = 30$ degrees since a circle round is 360 degrees in the dynamo-electric machine of 12.

[0018] If θ_1 is small, insertion of the coil from slot opening by the winding machine will become difficult. If θ_2 is small, the amount of magnetic flux which interlinks an armature winding through teeth section 2a among the magnetic flux generated with a permanent magnet will become less, and induced electromotive force will decline, as a result a motor property will fall. If productivity and a motor property are taken into consideration, two to about four are suitable for the value of θ_2/θ_1 . By drawing 2, the value of θ_2/θ_1 shows the case of 3.5.

[0019] Drawing 3 shows the cross section of the permanent magnet type dynamo-electric machine which is an example of a comparison with the permanent magnet type dynamo-electric machine of drawing 2. In drawing 3, although the basic configuration of a permanent magnet type dynamo-electric machine is the same as drawing 2, the width of face between the magnetic poles of a permanent magnet 9 is narrow, and the include angle θ formed in the both ends and the center of rotation of the narrowest width-of-face section between the magnetic poles of a permanent magnet 9 has become 1.8 degrees.

[0020] Next, an electrical angle explains [as opposed to / dynamo-electric machine / of the example of a comparison shown in the permanent magnet type dynamo-electric machine formed like drawing 2, and drawing 3 / permanent magnet type / the nominal speed of a permanent magnet type dynamo-electric machine, the rated current, and current phase induced electromotive force] the experimental result of the torque characteristic in operation of 20-degree progress.

[0021] When the value of θ of drawing 3 is set as drawing 4 to 30 degrees in 5-degree [5 degrees to] pitch, the experimental result of the torque characteristic of a permanent magnet type dynamo-electric machine is shown. The torque at this time is the direct-current torque (a rippled part is not included) when linking with each motor directly through coupling at load equipment, and passing the rated current to a stator winding 3. Torque is measured with a torque detector. The torque of a permanent magnet type dynamo-electric machine serves as the sum of the main-magnetic-flux torque by the permanent magnet 9, and the reluctance torque by the saliency of a rotator 6.

[0022] If the example of a gestalt of this operation makes θ increase in $\theta \leq 6.7$ degrees, torque will decrease compared with the $\theta = 1.8$ -degree example of a comparison. Between magnetic poles is saturated for the leakage flux between magnetic poles of a permanent magnet 7, and this thinks that there are few inflows of the armature reaction magnetic flux from a stator 1, and they are because the effectiveness of reluctance torque is small.

[0023] If θ is made to increase by 25 degrees or more, the amount of magnetic flux by the permanent magnet 7 interlinked to a stator winding 3 decreases, if the reluctance torque itself is considered by current regularity, an upper limit will exist naturally and torque will decrease as a whole.

[0024] However, in $6.7 \text{ degrees} \leq \theta \leq 25 \text{ degrees}$, it checked in the experiment that the field where the saturation by the leakage flux between magnetic poles is canceled in since between magnetic poles becomes large, the effectiveness of reluctance torque becomes large, and torque becomes large compared with the example of a comparison existed.

[0025] The measurement result of flux density distribution of the gap 5 at the time of no-load [of the example of a gestalt of this operation and the example of a comparison] is shown in drawing 5. As measurement, the hall device was stuck on the rotator front face, from the

outside, it was made to rotate slowly and the rotator 3 was performed.

[0026] Although the flux density distribution in the example of a gestalt of this operation is almost the same in the center section of the magnetic pole compared with the example of a comparison, it has decreased in the both-sides section. Although the amount of total magnetic fluxes decreases compared with the example of a comparison, it turns out that the wave-like configuration is distribution near a sine wave. Thereby, harmonic content decreases and cogging torque decreases.

[0027] In order to confirm this numerically, it asked for the percentage to the fundamental wave of the flux density spectrum of the example of a gestalt of this operation, and the example of a comparison. This is shown in drawing 6. The calculation approach of a flux density spectrum carried out the fourier expansion into series of the wave of drawing 5, and searched for it.

[0028] In the case of the example of a gestalt of this operation, drawing 6 shows that the 3rd more than higher harmonic which causes cogging torque compared with the example of a comparison is decreasing.

[0029] The torque which a motor generates has a desirable sine wave without the harmonic content to which generate pulsating torque and iron loss is made to increase. The example of a gestalt of this operation is one of the technique put close to this ideal flux density distribution.

[0030] The wave-like observation result of the cogging torque generated in the example of a gestalt and the example of a comparison of this operation in drawing 7 is shown. The measuring method of cogging torque links a motor with the motor for an external drive directly through a torque detector, rotates the motor for an external drive slowly, and measures the torque at that time. Drawing 7 shows that the pulsating width of face (the value which lengthened the minimum value from maximum, and a following P-P value are called) of the cogging torque of this example is small compared with the conventional example. Thereby, in the example of a gestalt of this operation, it turns out that cogging torque is reduced.

[0031] In evaluating the cogging torque when making the value of theta of drawing 3 into a parameter, it is necessary to take the output of the motor into consideration. Then, the following formulas define the reduction ratio K of cogging torque.

[0032]

$$K=(T_{\text{c}\theta}/T_{\theta})/(T_{\text{cz}}/T_z)$$

However, K: The reduction ratio of cogging torque (p. u.)

$T_{\text{c}\theta}$: Cogging torque (P-P value) [kg-cm] T_z of the example of a torque [kg-cm]

T_{cz} : comparison at the time of rating in case the angle between cogging torque (P-P value) [kg-cm] T_{θ} : magnetic poles in case the angle between magnetic poles to make is theta to make is theta: The value of the torque of drawing 4 is used for rating-torque [kg-cm] T_{θ} of the example of a comparison, and T_z . Cogging torque is able to be effectually reduced, so that the value of the reduction ratio K was small.

[0033] The observation result of the reduction ratio of the cogging torque when making the value of theta of drawing 3 into a parameter at drawing 8 is shown. From drawing 8, the reduction ratio of cogging torque becomes smaller than the example of a comparison at the time of $1.8 \leq \theta \leq 23.3$. In $15 \leq \theta$, the reduction ratio of cogging torque becomes large for the torque at the time of rating decreasing. In order to reduce cogging torque from the example of a comparison, it is good to make it $1.8 \leq \theta \leq 23.3$.

[0034] Drawing 9 summarized the range of the include angle theta between magnetic poles which torque improves and cogging torque reduces by drawing 4 and drawing 8. As for the include angle theta between magnetic poles which torque improves and cogging torque reduces from drawing 9, considering as $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ is optimal. These results are checked through the experiment mentioned above.

[0035] Drawing 10 shows the cross section of the permanent magnet type dynamo-electric machine concerning the example of a gestalt of operation of the second of this invention. In addition, since the same sign was given to the same member as drawing 1 - drawing 2, detail explanation of each part is omitted. Drawing 10 shows the permanent magnet type dynamo-electric machine of 4 pole 24 slot.

[0036] Also in the permanent magnet type dynamo-electric machine of drawing 10, although the

absolute values of a property differed as a result of performing the same measurement as the example of a gestalt of the first operation, it checked through the experiment that torque improved at the time of $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$, and cogging torque decreased.

[0037] Moreover, although not illustrated besides the example of measurement shown in the example of a gestalt of this operation, measurement with the same said of the permanent magnet type dynamo-electric machine of 2 pole 6 slot, 2 pole 12 slot, 8 pole 24 slot, and 8 pole 48 slot was performed. Consequently, although the absolute values of a property differ, when the include angle θ between magnetic poles is $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$, it is checking that torque improves and cogging torque can be reduced.

[0038] Drawing 11 shows the cross section of the permanent magnet type dynamo-electric machine concerning the example of a gestalt of operation of the third of this invention. In addition, since the same sign was given to the same member as drawing 1 - drawing 2, detail explanation of each part is omitted. By drawing 11, a circular and inner circumference side replaces with a linear boiled-fish-paste form permanent magnet the periphery side shown in drawing 2, and the periphery side and inner circumference side also shows the example using radii-like C form permanent magnet. Also in the permanent magnet type dynamo-electric machine of drawing 11, improvement in torque and reduction of cogging torque can be aimed at like the example of a gestalt of the first operation mentioned above at the time of $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$.

[0039]

[Effect of the Invention] According to this invention, the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the narrowest width-of-face section between the magnetic poles of each permanent magnet θ , When the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the part which has countered the rotator through a gap in θ_1 and the teeth section of a stator core in the include angle formed in the both ends and the center of rotation of the side which has countered the rotator of slot opening of a stator core is set to θ_2 , By considering as $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$, improvement in the motor efficiency by improvement in torque and reduction of cogging torque can be aimed at.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the sectional view of the direction of a revolving shaft of the permanent magnet type dynamo-electric machine concerning the example of a gestalt of operation of the first of this invention.

[Drawing 2] It is the A-A' sectional view of drawing 1 .

[Drawing 3] It is the sectional view of the permanent magnet type dynamo-electric machine which is an example of a comparison with the permanent magnet type dynamo-electric machine of drawing 2 .

[Drawing 4] It is drawing showing the relation of the include angle theta and torque characteristic which are formed between the magnetic poles of a permanent magnet in the center of rotation.

[Drawing 5] It is drawing showing the measurement result of flux density distribution of the gap at the time of no-load [of the example of a gestalt of the first operation, and the example of a comparison].

[Drawing 6] It is drawing showing the percentage of the flux density spectrum of the gap of the example of a gestalt of the first operation, and the example of a comparison.

[Drawing 7] It is drawing showing the wave-like observation result of the cogging torque generated in the example of a gestalt and the example of a comparison of the first operation.

[Drawing 8] It is drawing showing the reduction ratio property of cogging torque over the include angle theta formed between the magnetic poles of the permanent magnet of the example of a gestalt of the first operation in the center of rotation.

[Drawing 9] It is an explanatory view showing the range of the include angle theta formed between the magnetic poles of the permanent magnet of the example of a gestalt of the first operation in the center of rotation.

[Drawing 10] It is the sectional view of the permanent magnet type dynamo-electric machine concerning the example of a gestalt of operation of the second of this invention.

[Drawing 11] It is the sectional view of the permanent magnet type dynamo-electric machine concerning the example of a gestalt of operation of the third of this invention.

[Description of Notations]

1 [-- An end bracket, 5 / -- A gap, 6 / -- A rotator, 7 / -- A punching hole, 8 / -- A rotor core, 8a, 8b / -- An end plate, 9 / -- A permanent magnet, 10 / -- A revolving shaft, 11a, 115b / -- Bearing, 12 / -- A frame, 15 / -- A stator slot, S / -- Rotational core] -- A stator, 2 -- stator core, 2a -- The teeth section, 3 -- A stator winding, 4a, 4b

[Translation done.]

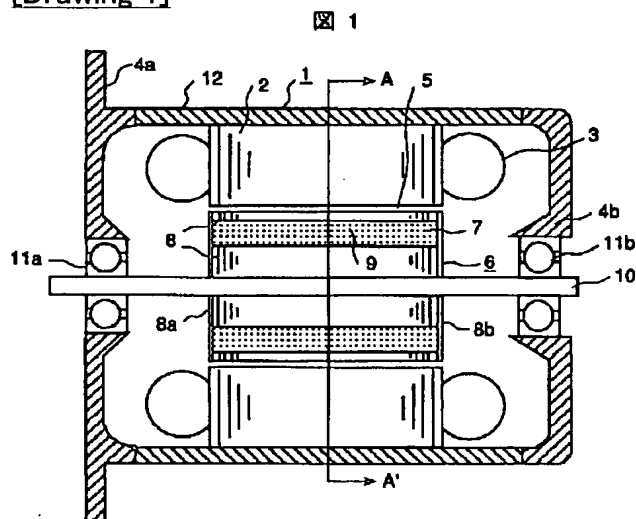
*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

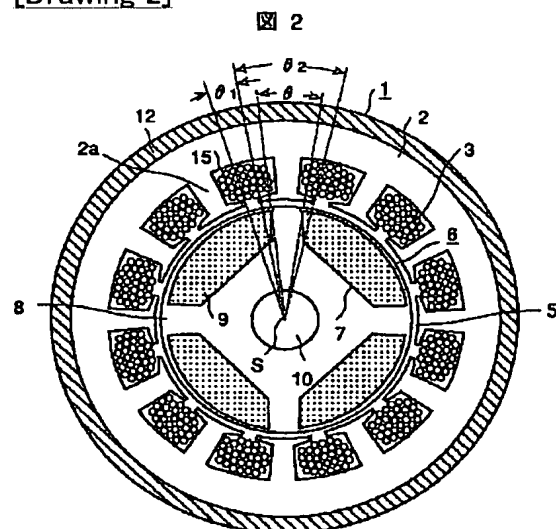
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

[Drawing 1]

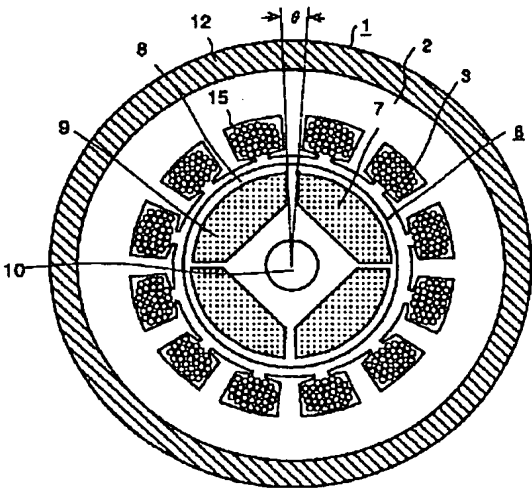


[Drawing 2]



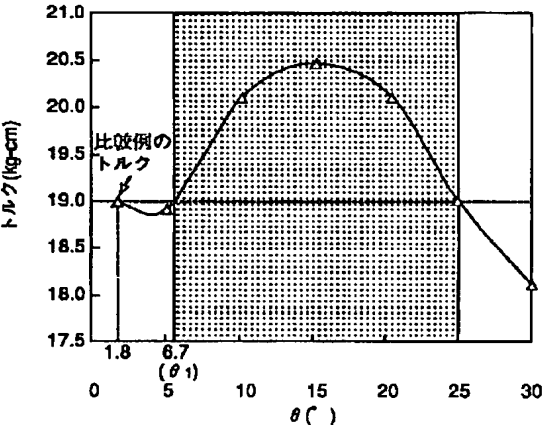
[Drawing 3]

図 3



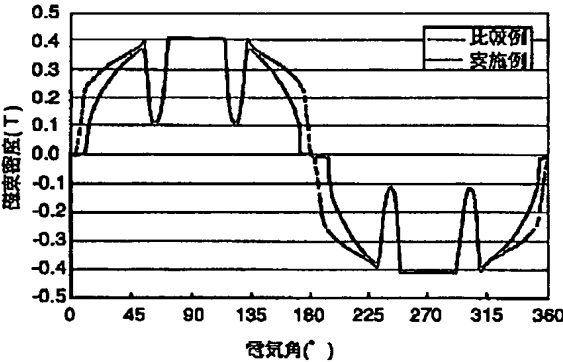
[Drawing 4]

図 4



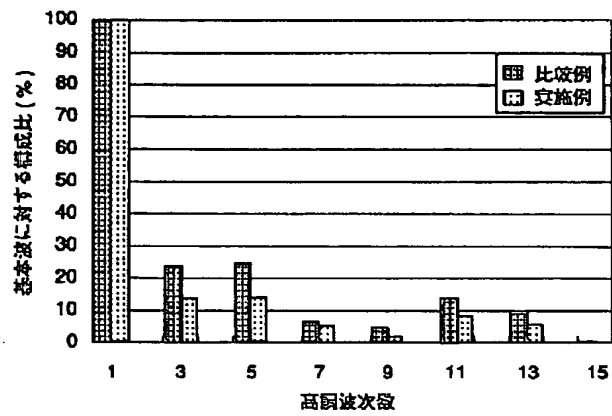
[Drawing 5]

図 5



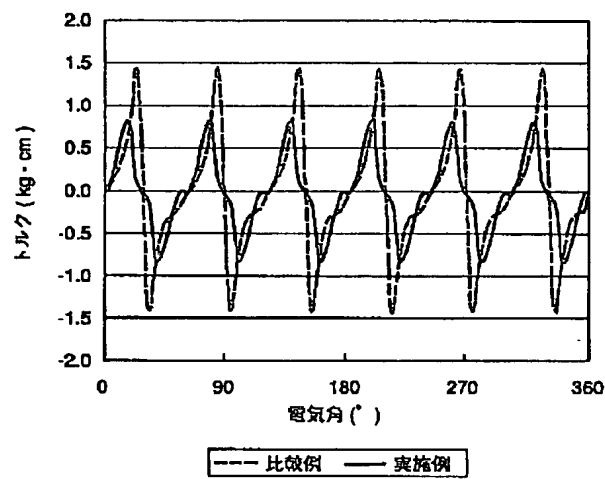
[Drawing 6]

図 6



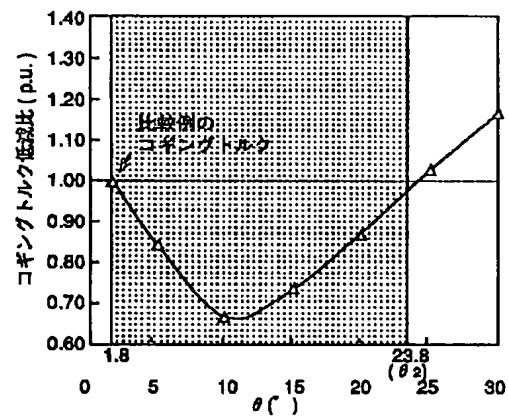
[Drawing 7]

図 7



[Drawing 8]

図 8



[Drawing 9]

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-333391
(P2000-333391A)

(43) 公開日 平成12年11月30日 (2000.11.30)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 2 K 1/27

識別記号

5 0 1

F I

H 0 2 K 1/27

テーマコード* (参考)

5 0 1 A 5 H 6 2 2

5 0 1 E

5 0 1 M

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-138556

(22) 出願日 平成11年5月19日 (1999.5.19)

(71) 出願人 000003108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 佐々木 学

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 小原木 春雄

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 100074631

弁理士 高田 幸彦 (外1名)

最終頁に続く

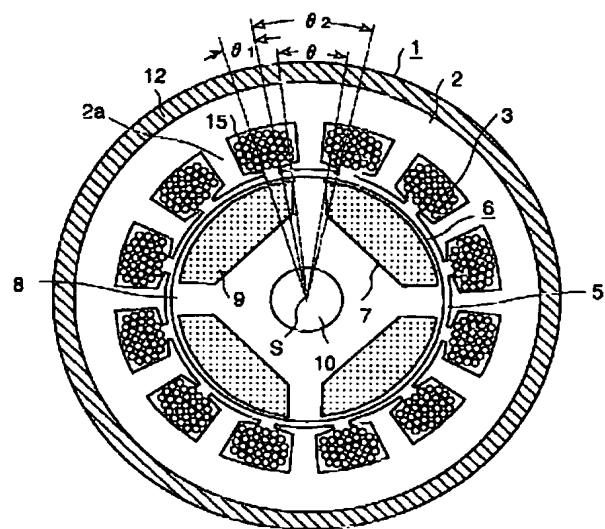
(54) 【発明の名称】 永久磁石式回転電機

(57) 【要約】

【課題】モータの効率を向上させ、かつコギングトルクの低減を図ることができる永久磁石式回転電機を提供する。

【解決手段】各永久磁石9の磁極間の最も狭い幅部の両端と回転中心Sとで形成される角度を θ 、固定子鉄心2のスロット開口部の回転子6に対向している側の両端と回転中心Sとで形成される角度を θ_1 、固定子鉄心2のティース部2aにおいてギャップ5を介して回転子6に対向している部分の両端と回転中心Sとで形成される角度を θ_2 としたとき、 $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ とすることにより、トルクの向上によるモータ効率の向上及びコギングトルクの低減を図ることができる。

図 2



(2) 000-333391 (P2000-333391A)

【特許請求の範囲】

【請求項1】固定子鉄心及び該固定子鉄心に巻回された固定子巻線を有する固定子と、該固定子鉄心にギャップを有して対向し、複数の永久磁石が周方向に配置内蔵された回転子鉄心を有する回転子とを備え、前記固定子巻線に通電することにより前記回転子を回転駆動させる永久磁石式回転電機において、前記各永久磁石の磁極間の最も狭い幅部の両端と回転中心とで形成される角度を θ 、前記固定子鉄心のスロット開口部の前記回転子に対向している側の両端と回転中心とで形成される角度を θ_1 、前記固定子鉄心のティース部において前記ギャップを介して前記回転子に対向している部分の両端と回転中心とで形成される角度を θ_2 としたとき、

$$\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$$

であることを特徴とする永久磁石式回転電機。

【請求項2】固定子鉄心及び該固定子鉄心に巻回された固定子巻線を有する固定子と、該固定子鉄心にギャップを有して対向し、複数の永久磁石が周方向に配置内蔵された回転子鉄心を有する回転子とを備え、前記固定子のスロット数と前記回転子の極数の比が3:1であり、前記固定子巻線に通電することにより前記回転子を回転駆動させる回転電機において、前記各永久磁石の磁極間の最も狭い幅部の両端と回転中心とで形成される角度を θ 、前記固定子鉄心のスロット開口部の前記回転子に対向している側の両端と回転中心とで形成される角度を θ_1 、前記固定子鉄心のティース部において前記ギャップを介して前記回転子に対向している部分の両端と回転中心とで形成される角度を θ_2 としたとき、

$$\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$$

であることを特徴とする永久磁石式回転電機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回転子鉄心に複数の永久磁石が埋め込まれている永久磁石式回転電機に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、一般に採用されているこの種の永久磁石式回転電機は、回転子鉄心に埋め込まれている複数の永久磁石の各磁極間の幅が狭くなっている。これは、永久磁石の外周側が円弧状の永久磁石においては、できるだけ各永久磁石を大きくして主磁束によるトルクを大きくするためである。

【0003】外周側が円弧状に形成された複数の永久磁石が回転子鉄心に埋め込まれている永久磁石式回転電機については、特開平9-247880号公報に開示されているように、周方向に隣接する各永久磁石間に介在する回転子鉄心の厚み寸法を、回転子鉄心外周面と永久磁石外周面との間に介在する回転子鉄心の厚み寸法より大

きくしたものがある。これにより、永久磁石による主磁束トルクとリラクタンストルクとの和を大きくし、モータ効率を向上させている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、永久磁石による主磁束トルクやリラクタンストルクは、固定子鉄心形状に関係し、その形状によっては、リラクタンストルクの効果が小さく、また、騒音の原因となるコギングトルク（無負荷時に回転子を回転させたときに生じるトルクの脈動）が大きくなる問題点があることを実験等により見出した。

【0005】本発明の目的は、以上の点に鑑みなされたものであり、モータの効率を向上させ、かつコギングトルクの低減を図ることができる永久磁石式回転電機を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明における永久磁石式回転電機の特徴とするところは、各永久磁石の磁極間の最も狭い幅部の両端と回転中心とで形成される角度を θ 、固定子鉄心のスロット開口部の回転子に対向している側の両端と回転中心とで形成される角度を θ_1 、固定子鉄心のティース部においてギャップを介して回転子に対向している部分の両端と回転中心とで形成される角度を θ_2 としたとき、 $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ とすることにある。

【0007】具体的には本発明は次に掲げる回転電機を提供する。

【0008】本発明は、固定子鉄心及び該固定子鉄心に巻回された固定子巻線を有する固定子と、該固定子鉄心にギャップを有して対向し、複数の永久磁石が周方向に配置内蔵された回転子鉄心を有する回転子とを備え、前記固定子巻線に通電することにより前記回転子を回転駆動させる永久磁石式回転電機において、前記各永久磁石の磁極間の最も狭い幅部の両端と回転中心とで形成される角度を θ 、前記固定子鉄心のスロット開口部の前記回転子に対向している側の両端と回転中心とで形成される角度を θ_1 、前記固定子鉄心のティース部において前記ギャップを介して前記回転子に対向している部分の両端と回転中心とで形成される角度を θ_2 としたとき、 $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ であることを特徴とする永久磁石式回転電機を提供する。

【0009】また、本発明は、固定子鉄心及び該固定子鉄心に巻回された固定子巻線を有する固定子と、該固定子鉄心にギャップを有して対向し、複数の永久磁石が周方向に配置内蔵された回転子鉄心を有する回転子とを備え、前記固定子のスロット数と前記回転子の極数の比が3:1であり、前記固定子巻線に通電することにより前記回転子を回転駆動させる回転電機において、前記各永久磁石の磁極間の最も狭い幅部の両端と回転中心とで形成される角度を θ 、前記固定子鉄心のスロット開口部の

!(3) 000-333391 (P2000-333391A)

前記回転子に対向している側の両端と回転中心とで形成される角度を θ_1 、前記固定子鉄心のティース部において前記ギャップを介して前記回転子に対向している部分の両端と回転中心とで形成される角度を θ_2 としたとき、 $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ であることを特徴とする永久磁石式回転電機を提供する。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機を、図を用いて説明する。

【0011】図1は、本発明の第一の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機の回転軸方向の断面を示し、図2は、図1のA-A'断面を示す。本実施の形態例においては、スロット数が12、極数が4、モータ出力が1kWの永久磁石式回転電機を示している。

【0012】永久磁石式回転電機のスロット数は、三相交流によって駆動する場合3の倍数となり、極数は2の倍数となる。しかし、スロット数が多いと、固定子巻線3を覆う絶縁材料が増えるため、インバータ出力電流の高周波成分がアースへ漏れやすくなり、電源側に悪影響を及ぼす。よって、毎極毎相のスロット数が1、すなわち、スロット数と極数との比が3:1であることが望ましい。

【0013】モータ出力が1kW程度の回転電機においては、普通毎極、毎相のスロット数が1~2程度である。よって、極数が4のモータにおいては、スロット数が12か24になる。

【0014】永久磁石式回転電機は、固定子1と該固定子1の内部に回転自在に配置された回転子6とから構成されている。固定子1は、フレーム12の内周側に積層形成した固定子鉄心2を備え、固定子鉄心2の固定子スロット15内に固定子巻線3を巻回されて構成されている。

【0015】回転子6は、主に回転子鉄心8と、永久磁石9と、回転軸10とから構成されている。すなわち、積層形成した回転子鉄心8を、打抜穴7を有するものと打抜穴7を有さない両端に設ける端板鉄心材8a、8bとで構成し、打抜穴7に永久磁石9を埋め込んだ後、リベット等（図示せず）で回転子鉄心8と端板8a、8bを固着し、その後回転軸10が挿入され構成されている。

【0016】回転子6は、回転軸10の両端側に嵌合したベ어링11a、11bがエンドブラケット4a、4bで支持され、固定子1の内周面と所定のギャップ5を介して回転するように形成されている。

【0017】また、回転子6は、特に、次のように形成されている。すなわち、各永久磁石9の磁極間の最も狭い幅部の両端と回転中心Sとで形成される角度を θ 、固定子鉄心2のスロット開口部の回転子6に対向している側の両端と回転中心Sとで形成される角度を θ_1 、固定子鉄心2のティース部2aにおいてギャップ5を介して

回転子6に対向している部分の両端と回転中心Sとで形成される角度を θ_2 （ただし、 $0 < \theta_1$ かつ $\theta_1 \leq \theta_2$ である半閉スロット）としたとき、

$$\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$$

を満たすように形成されている。図2においては、

θ_1, θ_2 は、スロット数が12の回転電機において

は、円一周が 360° であるから、

$$\theta_1 + \theta_2 = 360 / 12 = 30^\circ$$

を満たす値になる。

【0018】 θ_1 が小さいと、巻線機によるスロット開口部からの巻線の挿入が困難となる。 θ_2 が小さいと、永久磁石によって発生する磁束のうち、ティース部2aを通して電機子巻線を鎖交する磁束量が減って誘導起電力が低下し、ひいてはモータ特性が低下する。生産性及びモータ特性を考慮すると、 θ_2 / θ_1 の値は2~4程度が適当である。図2では、 θ_2 / θ_1 の値は3.5の場合を示している。

【0019】図3は、図2の永久磁石式回転電機との比較例である永久磁石式回転電機の断面を示す。図3において、永久磁石式回転電機の基本構成は図2と同じであるが、永久磁石9の磁極間の幅が狭く、永久磁石9の磁極間の最も狭い幅部の両端と回転中心とで形成される角度 θ は 1.8° となっている。

【0020】次に、図2のように形成された永久磁石式回転電機と図3に示す比較例の永久磁石式回転電機とについて、永久磁石式回転電機の定格回転数、定格電流、電流位相誘導起電力に対して電気角で 20° 進みの運転におけるトルク特性の実験結果について説明する。

【0021】図4に、図3の θ の値を 5° から 5° ピッチで 30° まで設定したとき永久磁石式回転電機のトルク特性の実験結果を示す。このときのトルクは、各々のモータにカップリングを介して負荷装置に直結し、固定子巻線3に定格電流を流したときの直流トルク（脈動分を含まない）である。トルクはトルク検出器によって測定する。永久磁石式回転電機のトルクは、永久磁石9による主磁束トルクと、回転子6の突極性によるリラクタンストルクの和となる。

【0022】 $\theta \leq 6.7^\circ$ において本実施の形態例は、 θ を増加させていくと $\theta = 1.8^\circ$ の比較例に比べてトルクが減少する。これは、永久磁石7の磁極間漏れ磁束のために磁極間が飽和し、固定子1からの電機子反作用磁束の流入が少なく、リラクタンストルクの効果が小さいためであると考えられる。

【0023】 θ を 25° 以上増加させると、固定子巻線3に鎖交する永久磁石7による磁束量は減少し、リラクタンストルク自体は電流一定で考えればおのずと上限が存在し、全体としてトルクが減少する。

【0024】しかしながら、 $6.7^\circ \leq \theta \leq 25^\circ$ においては、磁極間が大きくなるため磁極間漏れ磁束による飽和が解消され、リラクタンストルクの効果が大きくな

(4) 000-333391 (P2000-333391A)

り、比較例に比べてトルクが大きくなる領域が存在することを実験で確認した。

【0025】図5に、本実施の形態例と比較例との無負荷時のギャップ5の磁束密度分布の測定結果を示す。測定としては、回転子表面にホール素子を貼り付け、回転子3を外部からゆっくり回転させて行った。

【0026】本実施の形態例における磁束密度分布は、比較例に比べて磁極の中央部ではほぼ同じであるが、両側部において少なくなっている。比較例に比べて全磁束量は少なくなるが、波形の形状が正弦波に近い分布になっていることがわかる。これにより、高調波成分が少なくなり、コギングトルクが減少する。

【0027】これを数値的に確かめるために、本実施の形態例と比較例との磁束密度スペクトルの基本波に対する構成比を求めた。これを図6に示す。磁束密度スペクトルの算出方法は、図5の波形をフーリエ級数展開して求めた。

【0028】図6より、本実施の形態例の場合には、比較例に比べてコギングトルクの原因となる3次以上の高調波が減少していることがわかる。

【0029】モータが発生するトルクは、脈動トルクを発生させ鉄損を増加させる高調波成分がない正弦波が望ましい。本実施の形態例は、この理想的な磁束密度分布に近づける手法の1つである。

【0030】図7に、本実施の形態例と比較例とで発生するコギングトルクの波形の実測結果を示す。コギングトルクの測定方法は、モータをトルク検出器を介して外部駆動用のモータに直結し、外部駆動用モータをゆっくりと回転し、そのときのトルクを測定する。図7より、従来例に比べて本実施例のコギングトルクの脈動幅（最大値から最小値を引いた値、以下P-P値と称す）が小さくなっていることがわかる。これにより、本実施の形態例ではコギングトルクを低減していることがわかる。

【0031】図3の θ の値をパラメータとしたときのコギングトルクを評価するにあたり、そのモータの出力を考慮する必要がある。そこで、コギングトルクの低減比Kを以下の式で定義する。

【0032】

$$K = (T_{c\theta} / T_{\theta}) / (T_{cz} / T_z)$$

ただし、

K：コギングトルクの低減比 (p.u.)

$T_{c\theta}$ ：磁極間のなす角が θ のときのコギングトルク (P-P値) [kg-cm]

T_{θ} ：磁極間のなす角が θ のときの定格時のトルク [kg-cm]

T_{cz} ：比較例のコギングトルク (P-P値) [kg-cm]

T_z ：比較例の定格トルク [kg-cm]

T_{θ} 、 T_z は、図4のトルクの値を用いる。低減比Kの値が小さいほど、実効的にコギングトルクを低減できたことになる。

【0033】図8に、図3の θ の値をパラメータとしたときのコギングトルクの低減比の実測結果を示す。図8より、 $1.8 \leq \theta \leq 23.3$ のときコギングトルクの低減比が比較例より小さくなる。 $15 \leq \theta$ においてコギングトルクの低減比が大きくなるのは、定格時のトルクが減少するためである。コギングトルクを比較例より低減するには、 $1.8 \leq \theta \leq 23.3$ にするのがよい。

【0034】図4と図8とにより、トルクが向上しコギングトルクが低減する磁極間角度 θ の範囲をまとめたのが図9である。図9より、トルクが向上しコギングトルクが低減する磁極間角度 θ は、 $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ とするのが最適である。これらの結果は、前述した実験を通して確認したものである。

【0035】図10は、本発明の第二の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機の断面を示す。なお、図1～図2と同一部材には同一符号を付したので、各部の詳細説明は省略する。図10では4極24スロットの永久磁石式回転電機について示している。

【0036】図10の永久磁石式回転電機においても、第一の実施の形態例と同様の測定を行った結果、特性の絶対値は異なるものの、 $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ のときトルクが向上しコギングトルクが低減することを実験を通して確認した。

【0037】また、本実施の形態例で示した測定例の他に、図示していないが、2極6スロット、2極12スロット、8極24スロット、8極48スロットの永久磁石式回転電機についても同様の測定を行った。その結果、特性の絶対値は異なるものの、磁極間角度 θ が $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ のときトルクが向上しコギングトルクが低減できることを確認している。

【0038】図11は、本発明の第三の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機の断面を示す。なお、図1～図2と同一部材には同一符号を付したので、各部の詳細説明は省略する。図11では、図2に示す外周側は円弧状、内周側が直線の蒲鉾形永久磁石に代えて、外周側も内周側も円弧状のC形永久磁石を用いた例を示している。図11の永久磁石式回転電機においても、前述した第一の実施の形態例と同様に、 $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ のとき、トルクの向上及びコギングトルクの低減を図ることができる。

【0039】

【発明の効果】本発明によれば、各永久磁石の磁極間の最も狭い幅部の両端と回転中心とで形成される角度を θ 、固定子鉄心のスロット開口部の回転子に対向している側の両端と回転中心とで形成される角度を θ_1 、固定子鉄心のティース部においてギャップを介して回転子に対向している部分の両端と回転中心とで形成される角度を θ_2 としたとき、 $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ とすることにより、トルクの向上によるモータ効率の向上及びコギングトルクの低減を図ることができる。

:(5) 000-333391 (P2000-333391A)

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機の回転軸方向の断面図である。
【図2】図1のA-A'断面図である。
【図3】図2の永久磁石式回転電機との比較例である永久磁石式回転電機の断面図である。
【図4】永久磁石の磁極間と回転中心とで形成される角度 θ とトルク特性との関係を示す図である。
【図5】第一の実施の形態例と比較例との無負荷時のギャップの磁束密度分布の測定結果を示す図である。
【図6】第一の実施の形態例と比較例とのギャップの磁束密度スペクトルの構成比を示す図である。
【図7】第一の実施の形態例と比較例とで発生するコギングトルクの波形の実測結果を示す図である。
【図8】第一の実施の形態例の永久磁石の磁極間と回転

中心とで形成される角度 θ に対するコギングトルクの低減比特性を示す図である。

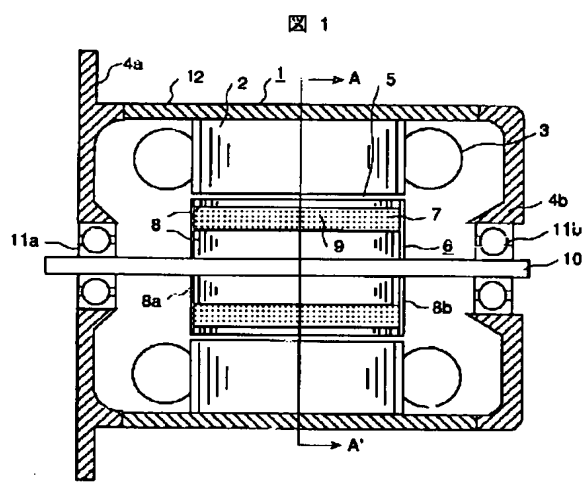
【図9】第一の実施の形態例の永久磁石の磁極間と回転中心とで形成される角度 θ の範囲を表す説明図である。

【図10】本発明の第二の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機の断面図である。

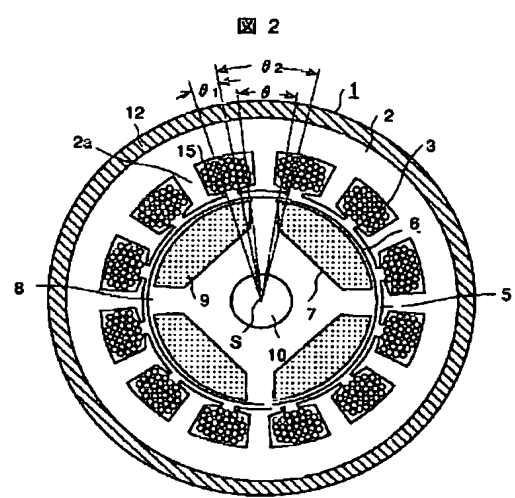
【図11】本発明の第三の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機の断面図である。

【符号の説明】
1…固定子、2…固定子鉄心、2a…ティース部、3…固定子巻線、4a、4b…エンドブラケット、5…ギャップ、6…回転子、7…打抜穴、8…回転子鉄心、8a、8b…端板、9…永久磁石、10…回転軸、11a、11b…ベアリング、12…フレーム、15…固定子スロット、S…回転の中心

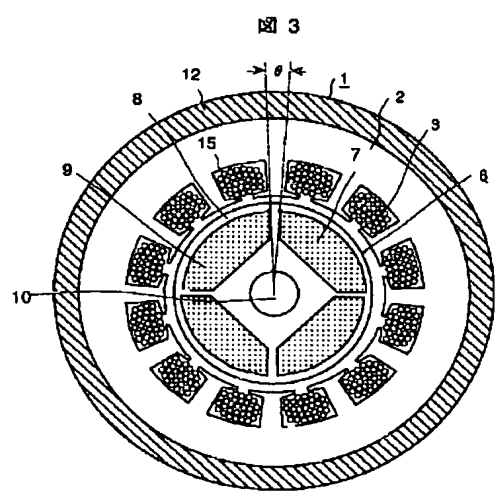
【図1】



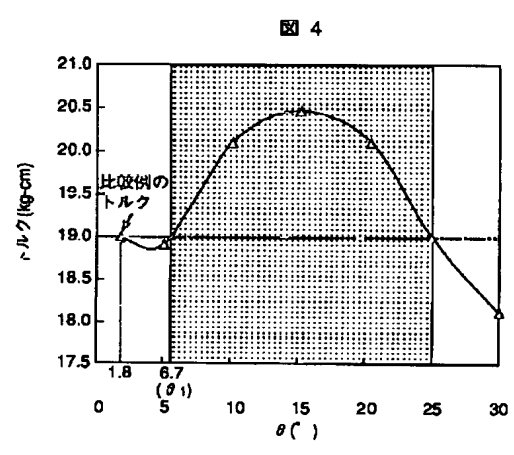
【図2】



【図3】



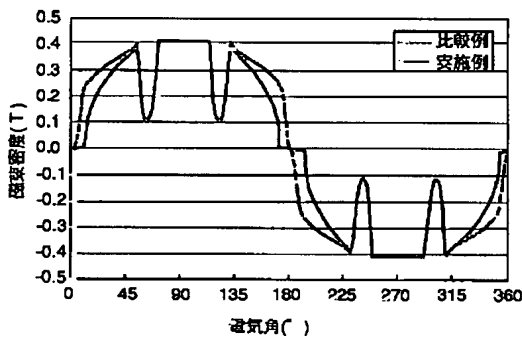
【図4】



!(6) 000-333391 (P2000-333391A)

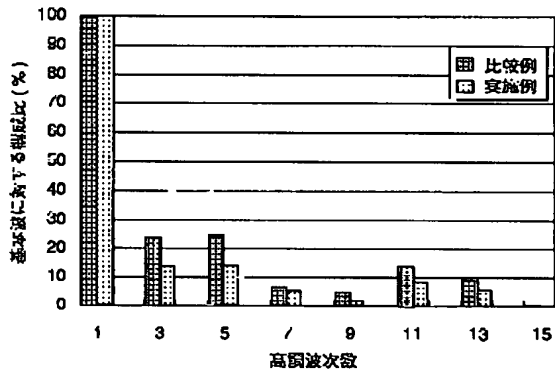
【図5】

図 5



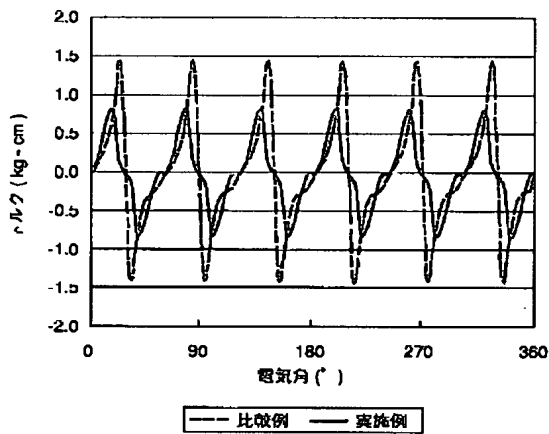
【図6】

図 6



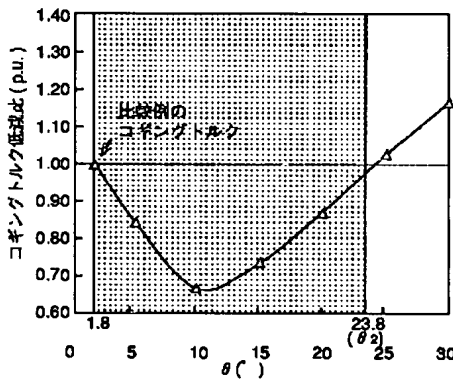
【図7】

図 7



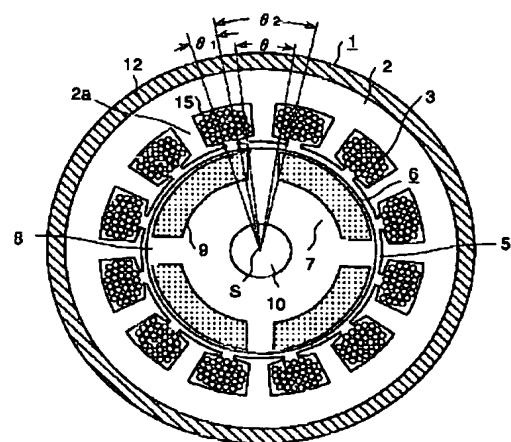
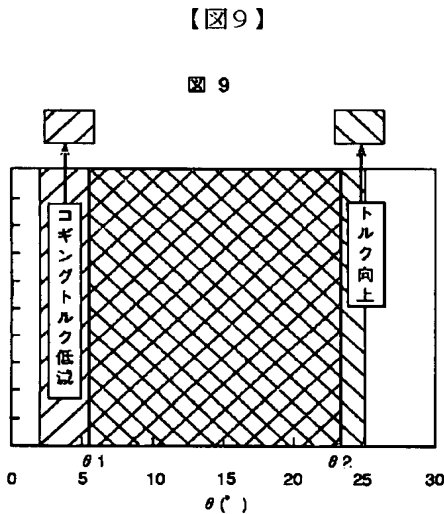
【図8】

図 8



【図11】

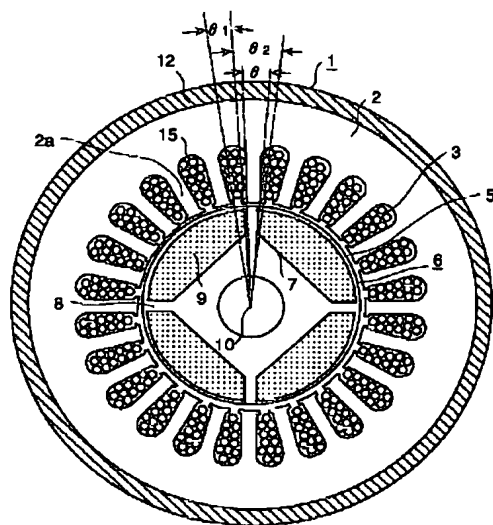
図 11



(7) 000-333391 (P2000-333391A)

【図10】

図 10



フロントページの続き

(72)発明者 菊地 聡
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 高橋 身佳
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 野間 啓二
千葉県習志野市東習志野七丁目1番1号
株式会社日立製作所産業機器事業部内

(72)発明者 佐藤 和雄
千葉県習志野市東習志野七丁目1番1号
株式会社日立製作所産業機器事業部内

(72)発明者 妹尾 正治
千葉県習志野市東習志野七丁目1番1号
株式会社日立製作所産業機器事業部内

Fターム(参考) 5H622 AA02 CA02 CA13 CB04 CB05
PP03 PP10 PP19 QB02